Lane Medical Library

Kraftquellen
in der
Orthodontie

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde

einer

Hohen medizinischen Fakultät

der

Ruprecht-Karls-Universität
zu Heidelberg

vorgelegt von

Alfred Haeberlein
aus Altrip

Heidelberg 1936.
Druck: Ludwig Geier, Heidelberg.

Gedruckt mit Genehmigung
der medizinischen Fakultät Heidelberg.

Dekan der Medizin. Fakultät:
Prof. Dr. Schneider.

Referent:
Doz. Dr. E. v. Schnizer.

Meinen lieben Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153506_0055

Kraftquellen in der Orthodontie

Plan.

A. Umgrenzung des Begriffes Orthodontie, ihr Zweck und Wirkungskreis (Angle, Simon).

B. Kraftquellen in der Orthodontie:

I. Geschichtlicher Ueberblick über die in der Orthodontie bis zum klassischen Angleizismus verwendeten Kraftquellen und ihre Anwendungsweise.

1. Die ersten Anfänge (römisches Altertum, Fauchard).
2. Schiefe Ebene.
3. Keile aus Holz, Gummi, Federharz, Kautschuck.
4. Elastische Bänder (Gummi, Kautschuck) und Seidenligatur.
5. Schraube.
6. Elastische Drähte.

II. Grundlegende Betrachtung über das Verankerungsproblem der orthodontischen Kräfte.

1. Befestigung der orthodontischen Kräfte (statisches Moment).
2. Verankerung der orthodontischen Kräfte (dynamisches Moment);
   a) vielgelenkige, eingelenkige, starre Verankerung;
   b) stationäre und reziproke Verankerung.

III. Die einzelnen orthodontischen Kraftquellen und ihre Eigenschaften.

1. Die Schraubkraft;
   a) ihre Eigenschaften und Wirkungsweise;
   b) die Berechnung der Größe ihrer Kraftwirkungen.
2. Gummizug und Seidenligatur;
   a) ihre Wirkungsweise;
   b) die Größe ihrer Kräfte.
3. Die Elastizität federnder Drähte;
   a) der Hebel.
      α. seine Wirkungsweise;
      β. Bemessung seiner Kraftwirkung.

b) Der Expansionsbogen (Labialbogen);
   α. seine Wirkungsweise;
   β. Verbesserungsbestrebungen seiner Kraftwirkung und -dosierung (Untersuchungen von Oppenheim, Verbesserungsbestrebungen von Grüneberg, Tacail, Lowe Joung, Angle, Arnold).
   γ. seine Kraftverteilung.
   ς. Verbesserungsbestrebungen der dabei auftreten-Mängel (Bertram, Körbitz, Simon, Angle, Mc Coy).

c) Der Lingualbogen;
   α. seine Entwicklung;
   β. seine Eigenschaften und Wirkungsweise;
   γ. Vergleich mit dem Labialbogen.

d. Die Fingerfederchen;
   α. ihre Eigenschaften und Formen;
   β. ihre Wirkungsweise.

IV. Die Größe der Kräfte;
1. von Fingerfederchen;
2. von Regulierungsbögen.

V. Die Bedingungen, welche zu stellen sind;
1. an das Fingerfedermaterial;
2. an das Hauptbogenmaterial;
3. an das Lot.

VI. Die physiologischen Wirkungen der Kraftquellen auf Zahn und Zahnbett (Untersuchungen von Ketcham, Gottlieb und Orban, M. Schwarz) **und die Bemessung** (Dosierung) **der Kräfte, die sich daraus ergibt.**

C. Zusammenfassung.

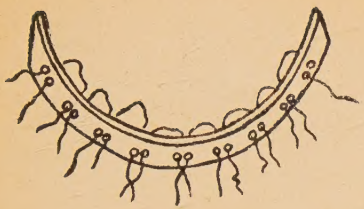


Abb. 1

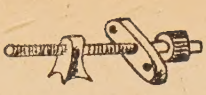


Abb. 2

Abb. 3

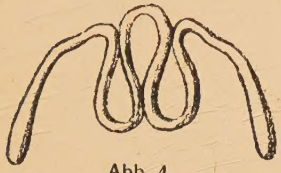


Abb. 4

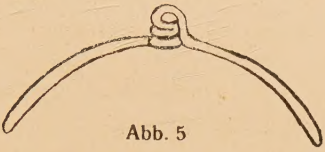


Abb. 5

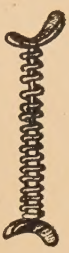


Abb. 6

Abb. 7

Abb. 9a

Abb. 9b

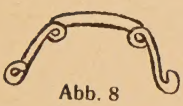


Abb. 8

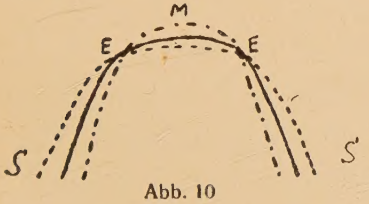


Abb. 10

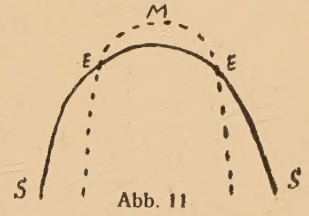


Abb. 11

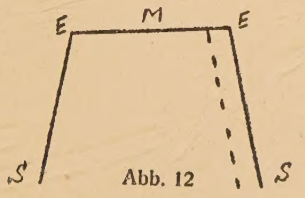
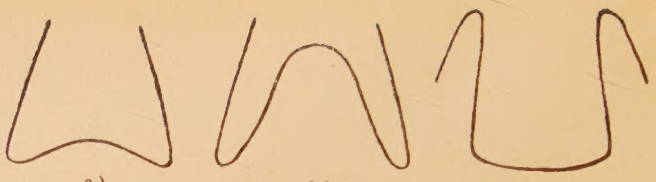


Abb. 12

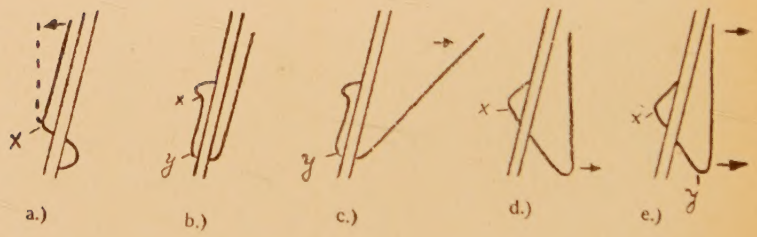


a.) b.) c.)

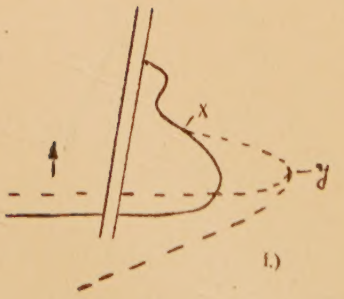
Abb. 13

a.) einfaches b.) rücklaufendes c.) Zwischen-Federchen

Abb. 14



a.) b.) c.) d.) e.)



f.)

Abb. 15. Wirkungsweise
a.) des einfachen
b.) c.) d.) e.) des rücklaufenden
f.) des Zwischen-Federchens
durch Aktivierung an den Stellen x und y.

Kraftquellen in der Orthodontie.

Bei der Behandlung dieses Themas ergibt sich zunächst die Frage nach dem **Zweck** und **Wirkungskreis** der Orthodontie als der Wissenschaft, welche die Korrektur von Okklusionsanomalien zum Gegenstand hat (Angle). Die Orthodontie erstrebt also m. a. W. die Herstellung eines normalen Gebisses mit bestmöglichen Beziehungen sowohl in funktioneller, wie anatomischer, wie ästhetischer Hinsicht. Um all diese Forderungen in wirklich zufriedenstellender Weise erfüllen zu können, bedarf es einer bestimmten Grundlage, einer sog. **Norm,** auf die jedes Gebiß bezogen werden kann. Angle sah diese Norm in den mesiodistalen Beziehungen der ersten bleibenden Molaren und stellte als eine von jedem normalen Gebiß zu fordernde Konstante folgenden Satz auf: „Der mesiobukkale Höcker des oberen ersten Molaren wird von der bukkalen Furche des ersten unteren Molaren aufgenommen." Wohl hat dieses sog. Molarendogma auch heute noch seine Gültigkeit, doch es befriedigt die praktischen Bedürfnisse nur sehr unvollkommen; denn es betrachtet das Gebiß als isolierten Körper hauptsächlich in sagittaler Ausdehnung, während die transversalen sowie vertikalen Beziehungen der Kiefer fast ganz außer Acht gelassen werden. Anders bei dem diagnostischen Prinzip von Simon, das sich auf der sog. biometrischen Norm aufbaut und als Gnathostatik bezeichnet wird. Hier wird das Gebiß durch 3 Normalkurven, eine Orbital- Horizontal- und Sagittal-Ebene bestimmt und so durchaus als dreidimensional betrachtet und dementsprechend gemessen. Nun erscheint es nicht mehr losgelöst, sondern in engem Zusammenhang mit dem ganzen Kopfe, in den es als ein bestimmter Teil eingebaut ist. Auf diese Weise erst können die Beziehungen zwischen Form und Funktion des Gebisses, zwischen Okklusion und Artikulation richtig erkannt und im Falle einer Anomalie wieder hergestellt und gewahrt werden.

Zum richtigen Verständnis der Orthodontie gehört aber neben den Grundlagen der Diagnostik, wie wir sie soeben kennengelernt haben, vor allem auch eine genaue Kenntnis der **Kraftquellen,** welche in der Orthodontie Verwendung finden. Es soll Aufgabe folgender Ausführungen sein, die Kraftquellen der modernen Orthodontie in ihrer Wirkungsweise, Größe und Dosierung zu beschreiben und klar herauszustellen.

Dabei ist es sehr lehrreich, einen Blick auf die **Geschichte** der Orthodontie zu werfen, um uns zu überzeugen, welche orthodontischen Kräfte früher Verwendung fanden und welche Wandlung sie erfuhren, um den Erfordernissen und Erkennt-

nissen der modernen Orthodontie entsprechend weiterhin Anwendung finden zu können. Wie jede Wissenschaft, so brauchte auch die Orthodontie lange Zeit, bis sie sich von kleinen, primitiven Anfängen an, begleitet von Perioden des Stillstandes und der Scheinerfolge, zu ihrem heutigen hohen Stande durchgerungen hatte. So bediente man sich in ihren Entwicklungsjahren auch recht roher und primitiver Kräfte, um die erforderlichen Regulierungen durchzuführen, eine Tatsache, die uns nicht wundernehmen kann bei der damaligen Unkenntnis der physiologischen Wirkungen der Kräfte, bei der Nichtbeachtung der mathematisch-physikalischen Gesetze, nach welchen die Kräfte wirken, und vor allem bei dem Fehlen eines allgemeingültigen Systems für die Behandlung und die Herstellung der erforderlichen Apparate. Bis in die Zeit Angles, dessen geschichtliche Bedeutung in der Aufstellung bestimmter Normen bestand, d. h. in der Klassifizierung der Okklusionsanomalien (in morphologischer Hinsicht, nicht nach Genese) und in der Verfertigung von Einheitsapparaten zur Beseitigung der einzelnen Anomalien, arbeiteten fast alle Orthodontisten nach eigenen Prinzipien. Sie benützten in eigenen, für jeden besonderen Fall wieder besonders konstruierten Apparaten die Kraftquellen, die sie gerade für geeignet hielten. So war deren Anwendung einem steten Wechsel unterlegen und der Willkür eines jeden Praktikers preisgegeben.

Die ersten Versuche zur Behandlung von Unregelmäßigkeiten der Zahnstellung sind uns aus dem römischen Altertum überliefert, wo Celsus ohne jeglichen Apparat die unregelmäßig durchbrechenden Zähne durch **Fingerdruck** zu regulieren suchte. Viele Jahrhunderte später bemühten sich Fabricius, Sculteti, Nuck und Dionis in recht primitiver Weise und mit kaum nennenswertem Erfolg die Stellungsanomalien mit **Faden, Zange** und **Feile** zu beseitigen. Erst durch Fauchart (1728), der ernstliche Versuche zur Regulierung machte, ist ein wesentlicher Fortschritt zu verzeichnen. Auch er versuchte mit Fingerdruck, Feile und Fäden, aber auch mit Platten aus Gold oder Silber zu regulieren. Hatte er mit diesen Hilfsmitteln keinen Erfolg, so luxierte er den Zahn und suchte ihn in seiner neuen Stellung mit Faden oder Platte festzuhalten. Seine grundlegende Erfindung aber war die erstmalige Anwendung eines breiten **Metallbandes,** das der idealen Zahnbogenform in großen Zügen entsprach und des Hauptzweck in der Erweiterung des Zahnbogens bestand. Es wirkte noch nicht allein durch seine eigene Elastizität, sondern durch die Kontraktionskraft von Seidenligaturen, welche durch zwei nebeneinander liegende Löcher des Bogens gingen und so die anormal stehenden Zähne in die gewollte Stellung bringen sollten (Abb. 1). Der Deutsche Brunner (1771) erfand und benutzte zum ersten Male eine **schiefe Ebene,** der sich später auch die Engländer Berdmore

und Hunter bedienten. Sie überkappten die unteren Vorderzähne bis einschl. Prämolaren mit Silber und löteten an die Kappe eine flache, einwärts und nach oben gerichtete Platte. Der Kaudruck besorgte dann die Regulierung. Auch Catalan (1808) konstruierte sich in seinem **„Planung inclinatum"** eine Art schiefe Ebene. Sie bestand aus Bändern, die an den Unterzähnen entlang liefen und an diese mit Klammern oder Ligaturen befestigt wurden. Auf dieser festen Gold- oder Platinbasis wurde ein Vorsprung angelötet, der an seiner vorderen Seite eine schräge Fläche darbot, die von unten nach oben und von vorn nach hinten gerichtet war. Der Apparat sollte zur Beseitigung der Progenie dienen.

Fox (1804) verwendete zu Regulierungszwecken die Kräfte von **elastischen Bändern** und **Gummiringen** in Verbindung mit Metallringen, welche er um die zu behandelnden Zähne legte. In ähnlicher Weise benützte Lachaise (1842) die Elastizität eines **Kautschukstreifens;** dieser wurde an den Bändern der Ankerzähne befesttgt und übte durch sein straffes Anliegen an den Vorderzähnen einen erheblichen Druck auf diese aus. White (1862) regulierte vermittelst Ligaturen und Gummiringen, die an einer **Platte** befestigt waren. Ebenso benützte Wilpart (1877) als Regulator eine mit Haken aus Gold versehene Kautschukplatte. An den Haken wurden die Gummiringe befestigt, welche um die zu regulierenden Zähne gelegt wurden und diese so in ihre normale Stellung bringen sollten. Kühns (1885) verwendete zur Beseitigung der Protrusion eine die Backzähne überkappende Kappe, an der zum Zurückziehen der Frontzähne ein Gummistreifen befestigt und so gelegt wurde, daß er auch die Zähne etwas in ihre Alveole hineindrückte. Die Kraft elastischer Bänder benützten auch Kingsley (1866), Allan (1866) und Tomes (1873) in besonderen Apparaten. So empfahl Kingsley einen **Kopfkappenapparat** zur Beseitigung der Protrusion. Das wirksame Prinzip dieser Vorrichtung liegt in elastischen Gummiligaturen, die sich von zwei aus den Mundwinkeln herausragenden und mit den sechs Vorderzähnen in Verbindung stehenden Metallarmen zu einer Lederkappe spannen, die genau auf dem Scheitel aufsitzt. Analog zu diesem Apparat fertigte Allan zur Behandlung des vorstehenden Unterkiefers eine **Kinnkappe** aus Messing an, die durch je zwei Gummibänder, welche in zwei an dieser Kappe angelötete Haken eingriffen, mit einem Kopfnetz in Verbindung standen. So wurde ein erheblicher Druck nach hintenoben auf den gensamten Unterkiefer ausgeübt. Tomes endlich benützte eine **Kopfbandage** aus elastischen Bändern zur Behandlung des offenen Bisses.

Sehr verbreitet war in den Entwicklungsjahren der Orthodonthie auch die Anwendung von **Holz-** und **Gummikeilen, Federharzplättchen** und **gepreßtem Kautschuk.** Während der vor Benutzung einige Stunden komprimierte Holzkeil unter dem

Einfluß der Mundflüssigkeit aufquoll und so eine erhebliche Druckkraft vermittelte, wirkten Gummikeile, Federharzplättchen und gepreßter Kautschuk durch ihre eigene Elastizität. So empfahl Delabarre (1815) bei zu engen Kiefern die schiefen Zähne mit Holzkeilen und Seidenfäden, die er zwischen die Zähne einlegte oder festband, gerade zu richten. Linderer (1848) trat ebenfals für die Anwendung dieser Druckmittel ein und zwar in Verbindung mit einer Klammerspange, die zwecks Aufnahme von Ligaturen zum Festbinden der Keile durchlocht war. Ferner gab er einen Apparat zur Erweiterung des Kiefers an, der aus Klammern bestand, die auf beiden Seiten durch eine überall am Gaumen außer an den mittleren Incisivi anliegende Platte verbunden waren. Zwischen Platte und Zähnen angebrachte Federharzplättchen sollten durch Druck gegen die Zähne den Alveolarfortsatz erweitern. Ebenso benutzte er zur Achsendrehung von Zähnen eine an den beiderseitigen Molaren verankerte Doppelspange, die zur Aufnahme von Holzkeilen an den distalen und mesialen Kanten der Zähne durchlocht war. Die einander entgegenwirkenden Druckkräfte der Keile sollten die gedrehten Zähne in ihre richtige Stellung bringen. Grandhomme (1848) dagegen überkappte alle Zähne, ließ aber an der palatinalen bezw. labialen Fläche Zwischenräume bestehen und drückte nun vermittelst stark gepreßten Kautschuks den abgewichenen Zahn an seinen Platz. Um Zähne nach außen zu drängen, verwendete er auch eine Gaumenplatte und brachte zwischen Platte und abgewichenem Zahn Kautschuk- oder Holzkeile an. Häufige Zahnlockerungen oder unerwünschte Bewegungen infolge ihrer mangelhaften Verankerung, sowie beträchtlichen Schmerzen waren meist die unangenehmen Folgen einer Behandlung mit solchen Keilen. Auch konnte von einer genaueren Dosierung ihrer rohen Kräfte keine Rede sein. Aus all diesen Gründen ist diese Kraftquelle auch heute völlig außer Gebrauch gekommen.

Seit Carabelli (1842) verbreitete sich sehr rasch die Anwendung von **Schraubkräften.** Dieser benutzte zum Regulieren anormal stehender Zähne folgende Anordnung: Eine Anzahl von Klammern und Bändern um die beiderseitigen Molaren und Prämolaren wurde durch einen lingualen bezw. labialen Bügel verbunden. Dieser Bügel war mit Löchern und diese wieder mit Gewinde versehen zur Aufnahme von Schrauben, die durch ihren Druck oder in Verbindung von Ligaturen (Metalldraht oder Schnüre von gewachster Seide) die Zähne vor oder zurückdrängen sollten. Carabelli sucht ferner mit einem System von **Miniaturwinden** Frontzähne nach vorne zu ziehen. Um die zu regulierenden Zähne sind Fäden geschlungen, die um die Welle laufen, durch deren Drehung die betreffenden Zähne nach außen gezogen werden. Um einen Zahn in lingualer Richtung zu verschieben, läßt dieser Autor auf ihn den Druck einer **Liliput-**

schraubenpresse wirken. Einen ganz primitiven und sehr umfangreichen Schraubenapparat gab Rogers (1847) an. Er verwendete als Regulator einen an beiden Enden **gezahnten, halbkreisförmigen Reifen,** der sich an zwei Metallhülsen fügte, die an den beiden letzten Molaren befestigt wurden. Der gezahnte Teil griff in die Hülsen vermittelst eines kleinen Zahnrades ein, das mit Hilfe eines Uhrschlüssels drehbar und mit einem federnden Haken befestigt war. Der erste, der die Schraube zwecks Erweiterung des Kiefers angewendet hat, scheint Talma (1854) gewesen zu sein. Er benutzte eine dem Gaumen genau anliegende Platte; an diese wurden zwei resistente Querarme aus Metall angepaßt, die sich in der Mittellinie in einer Scheide vereinigten, welche beiden gemeinsam war. Eine mit dem Kopfe nach vorn gerichtete Schraube ging zwischen diese Arme. Ihr Anziehen sollte die Ausdehnung der Platte und damit auch der Kiefer bewirken. Auch Sauer (1877) konstruierte verschiedene Apparaturen, die mit starker Schraubkraft arbeiteten. Er befestigte die Schrauben durch Klammern sowohl an den Ankerzähnen wie auch an den zu bewegenden Zähnen. Farrar (1878) wendete in allen Fällen der Regulierung Schraubensysteme an, die aber infolge ihrer Kompliziertheit meist unzweckmäßig und unpraktisch waren, ein Vorwurf, den wir ja nahezu allen damals gebrauchten Apparaten machen müssen. **Farrar** glaubt nähmlich, daß eine intermittierende Kraft (Schraube) zweckentsprechender sei als eine kontinuierlich wirkende (Gummiringe, Federn und dergl.), ein Umstand, der dadurch zu erklären ist, daß damals die Schraube die einzige Kraftquelle war, mit der eine direktionsfähige Kraft ausgeübt werden konnte. Auch sucht Farrar, der selbst schon vor allzu großer Kraftaufwendung warnt und die Gewebsveränderungen in physiologischen Grenzen gehalten wissen will (tägliche Bewegung des Zahnes um $^1/_5$ mm) eine unförmige Größe seiner Apparate zu vermeiden. Eine seiner überaus zahlreichen Schraubenkonstruktionen sei kurz beschrieben. Durch sinnvolle Anwendung eines Schraubensystems hält er mit einem labialen Bügel die Schneideflächen der Vorderzähne fest, während deren Wurzeln durch Druck von zwei Hebeschrauben, die durch einen lingual liegenden Barren miteinander verbunden sind, vorwärts bewegt werden. Auch die umgekehrte Bewegung führt er mit seinem Schraubensystem aus. Lee (1880) konstruierte eine **Regulierschraube,** die dazu diente, weit nach außen durchgebrochene Zähne in ihre normale Stellung hineinzuziehen (Abb. 2). Ziemlich unförmig und kompliziert waren schließlich auch die Schraubenapparate, die Haydenhauß (1903), Pfaff (1906) und Angle (1903) anwendeten. Ersterer benützte eine an fortlaufenden Kronen verankerte und nach dem Gaumen zu verlegte Dehnungsschraube, um den Druck auf die Kieferwandungen zu übertragen. Die Wirkungsweise dieses Apparates machte Pfaff in einzelnen Fällen noch

unübersichtlicher, indem er ihm einen an den Kronen festgelöteten Federdraht aus Neusilber hinzufügte. Auch Angle unterstützte vor der Erfindung seines Expansionsbogens die Wirkung seiner mit großer Kraft arbeitenden und an Bändern verankerten Zug- und Druckschrauben gerne durch einen elastischen Draht, der ebenfalls an Bändern befestigt wurde.

Die Kraftquelle, der wir uns auch heute noch in erster Linie bei unseren Regulierungsarbeiten bedienen, nämlich die **Federkraft elastischer Drähte**, wurde bereits im Jahre 1815, natürlich in einer für unsere heutigen Begriffe recht primitiven Weise, angewendet. Damals beschrieb Delabarre den Gebrauch eines **Hebels** aus elastischem Golddraht. Der zu bewegende Zahn wurde überkapselt und diese Kapsel mit einer kleinen Röhre versehen, in welcher der Hebel mit einer Schraube befestigt wurde. Das freie Ende des Hebels wurde dann der Zahnreihe entlang gebogen und vermittelst Ligaturen an einem oder mehreren Zähnen befestigt (Abb. 3). Lefoulon (1839) benutzte die Expansionskraft eines goldenen, **hufeisenförmigen Balkens** zur Erweiterung der Kiefer. Dieser Bogen, der ungefähr der Gestalt des normalen Kieferbogens entsprach und an den Molaren und Prämolaren befestigt wurde, nannte Lefoulon die aktive Feder. Jedem der vom normalen Bogen abgewichenen Zähne umgab er dann mit einem Seidenfaden, dessen Enden er an dem Balken befestigte; dies stellte die passive Feder dar. Zusammen durch die Elastizität des Balkens und die Kontraktionskraft der Seidenligaturen sollte also die Regulierung bewerkstelligt werden. Auch Schange (1842) benutzte zur Expansion einen breiten, dicken **Golddraht,** der dem äußeren Zahnbogen folgte und an Klammern festgelötet war, welche die Molaren und Prämolaren umfaßten. Dabei bediente er sich zur Einwärtsbewegung der protrudierten Schneidezähne kleiner Schrauben, die durch den Draht hindurch gingen. Grandhomme (1848) verwendete zur Ausrichtung gedrehter Zähne ebenfalls einen elastischen Golddraht, der in ein um den Zahn gelegtes Goldband eingriff. Linderer (1848) empfahl zum Zwecke des Einwärtsdrängens von Frontzähnen eine Gaumenplatte mit **Spiralfeder** nach Brewster (1840) oder elastischen Klammern anzuwenden. French (1854) gab einen Apparat an, der aus einem dem Gaumengewölbe genau angepaßten und mit Klammern für die Ankerzähne versehenen Silberplatte bestand. An diese Platten wurden Platt- und Spiralfedern angebracht, durch die ein beständiger und gleichmäßiger Druck in jeder beliebigen Richtung auf die Zähne ausgeübt werden konnte. Auch White (1862) benutzte zur Erweiterung des oberen Zahnbogens die Kraft einer Spiralfeder; diese wurde so angebracht, daß sie eine in zwei Hälften geteilte Platte auseinander trieb und damit den nötigen Druck auf die Kieferwandungen und den Alveolarfortsatz ausübte. Hepburn (1862) empfahl, um Zähne nach innen zu

drücken, in eine Kautschukplatte ein **elastisches Metallband** einzuvulkanisieren, das so gebogen war, daß es einen ständigen Druck, den man durch Nachbiegen noch verstärken konnte, auf den Zahn ausübte. Aehnlich wie White verwendete Coffin (1882) zu Regulierungszwecken eine dünne, zweiteilige Expansionsplatte aus Kautschuk, deren Hälften durch ziemlich dünnen, der Zungenfläche anliegenden **Federdraht** aus Stahl verbunden waren. Dieser Draht war in verschiedener Form gebogen, um den Druck in jeder gewünschten Richtung ausüben zu können. Durch seine Spannung konnte die relative Bewegung der Platte und ihre Kraftwirkung reguliert werden. Die Drahtfeder wirkte als Hebel und wurde zum Ziehen, Drücken und Drehen der Zähne verwendet; sie sollte Hebelschrauben, schiefe Ebene und Ligaturen in jeder Hinsicht ersetzen. (Abb. 4).

Talbot (1890) konstruierte sich zum Erweitern des Kiefers eine Feder aus Pianodraht, die in leichten Fällen mit Bändern an den Zähnen befestigt, in schwierigen Fällen mit einer Platte in Verbindung gebracht wurde. Der Federdruck wurde einfach durch Zusammenbiegen oder Auseinanderbiegen des Drahtes verändert. (Abb. 5).

Davenport (1887) bediente sich einer Kautschukplatte mit einem einseitig einvulkanisierten Platindraht, der auf der anderen Seite mittels Kupferdrahts an der Platte befestigt wurde. Durch Zudrehen des Kupferdrahtes wurde die gewünschte Kraft auf die Frontzähne ausgeübt. Bonwille (1888) fertigte eine **Hebefeder** an, die dazu diente auf unregelmäßig stehende Zähne einen konstanten Druck ausüben. Dieselbe konnte in einer Biegung verwendet oder auch dem harten Gaumen angepaßt werden. (Abb. 6).

Siegfried (1889) konstruierte zum Bewegen eines oder mehrerer Zähne eine **Hebelfeder** mit doppelseitigen Auslegern. Je nach ihrer Verankerung konnte sie Druck- oder Zugkräfte vermitteln. (Abb. 7).

Byrnes (1889) bediente sich der Elastizität schmaler Goldstreifen, die entsprechend gebogen waren um eine Zugwirkung auf schlecht gelagerte Zähne auszuüben, während Patrik (1882) einen aus federndem Gold- oder Platindraht bestehenden Apparat angab, welcher der Bogenform des Kiefers entsprach und Schieber trug. Zwei solcher Schieber, einer auf jeder Seite, trugen je einen nach den Molaren geformten Bandring; diese Ringe sollten den Drahtbogen an den Molaren befestigen und in seiner Stellung festhalten. Die anderen Schieber trugen Keile, Haken, Schleifen, Ringbänder, V-förmige Haken, Gummibänder usw. Um die Vorrichtung wirken zu lassen, wurden die Keile oder geneigten Ebenen gegen die Zähne geschoben, die Schleifen oder Bänder angezogen und, sobald die zu richtenden Zähne normal standen, durch Stellschrauben fixiert. Die wirkende Kraft lag also einerseits in der Elastizität der gebogenen Feder,

andererseits in der direkten Wirkung der Schraube. Dieser Apparat arbeitete schon nach den selben Prinzipien wie Angles moderner Exqansionsbogen, nur eben in einer weit primitiveren und komplizierteren Art und Weise. Jackson (1890) verwendete fast ausschließlich Federapparate zu Regulierungszwecken. Hier waren die Federn, die in der Regel aus Klavierdraht, manchmal auch aus Gold-, Neusilber- oder Platindraht bestanden, **an einer Drahtbasis** verankert. Auf die Schwierigkeit eine solche Apparatur im Munde anzubringen sowie auf die schlechte Möglichkeit den ausgeübten Druck zu messen und zu regulieren, braucht wohl kaum hingewiesen zu werden. Endlich seien noch zwei Federkonstruktionen erwähnt, die früher öftere Anwendung fanden. Die eine stammt von Matteson (1891) und diente zur Raumschaffung (Abb. 8), die andere gab Pokorny (1896) an. Es war eine fortgesetzt wirkende Federspirale, bestehend aus einem Zylinder mit einer Federspirale, die mit einer Leitstange verbunden war. Sollte ein Druck zugeübt werden, so endigte die Leitstange in einer Gabel (Abb. 9a); sollte ein Zug ausgeübt werden, so endigte sie in einem Haken (Abb. 9b). Die Anwendung der Spiralfeder geschah in Verbindung mit Kautschukapparaten.

In das Jahr 1887 nun fällt die erste Veröffentlichung von Angle, in der es ihm nach jahrelanger Beobachtung und eingehendem Studium alles dessen, was bisher in der Orthodontie geleistet wurde, einerseits gelungen ist, all die unzähligen Fälle von Malocclusion in 3 Klassen einzureihen, in der er andererseits bereits früher angewandte und beschriebene Kräfteanordnungen in so vorteilhafter Modifikation und so zweckmäßiger Anordnung für alle typischen Fälle seiner 3 Klassen herausbringt, daß dadurch die Orthodontie einen gewaltigen Auftrieb erfuhr. Vor allem der Angle'sche Expansionsbogen, der uns später noch eingehend beschäftigen wird, war als sog. Standardapparatur dazu berufen eine neue Epoche der Orthodontie einzuleiten.

Bevor wir zu der Besprechung der einzelnen Kraftquellen übergehen, die seit Eintritt in diese neue Epoche Verwendung finden, müssen wir uns noch über ein Problem klar werden, das für die Wirkung der orthodontischen Kräfte von grundlegender Bedeutung ist, nämlich über das Problem der **Verankerung.** Hier unterscheiden wir nach Salomon zwei Momente; ein **statisches,** das die Befestigung der orthodontischen Maschine an der Zahnreihe zum Gegenstande hat, und ein **dynamisches,** das sich auf die Wirkung, den Effekt der Maschinenkräfte — einerseits auf die Ankerzähne, andererseits auf die zu bewegenden Zähne — bezieht.

Wohl ist es eine Frage von erheblicher Wichtigkeit, welche Hilfmittel zur Befestigung auszuwählen sind und welche Zähne hierzu herangezogen werden müssen, doch ist dies kein Problem,

das fortwährend reges Denken und tiefe Aufmerksamkeit erfordern würde. Dagegen ist die Frage nach dem Einschalten der zu bewegenden Zähne in das Kräftesystem ein wirkliches Problem, das von Fall zu Fall anders entschieden oder im Verlaufe der Behandlung öfter abgeändert werden muß. Die schwierige und von jedem Praktiker immer wieder selbst zu entscheidende Frage ist die, in welcher Art und Weise und in welcher Reihenfolge die Zähne in das Kräftesystem einzuschalten sind, damit ihre Bewegungen zweckmäßig, einander unterstützend, unter biologischen Bedingungen verlaufen. Dieses wichtigste Moment der Dynamik ist das Problem der Verankerung (Salomon).

In der Kieferorthopädie stehen uns mannigfache Arten der Verankerung zur Verfügung. Die einen lösen leicht, die anderen schwer auszuführende Bewegungen aus. Wird z. B. die elastische Kraft eines Bogens mit Hilfe einer Ligatur auf einen Zahn übertragen, dann wird dieser um irgend einen Punkt kippen. Wo der Punkt liegt, hängt ab von der Form der Zahnwurzel und der Widerstandsfähigkeit der Alveole. Um ein Abgleiten der Kraft, wie es bei den Ligaturenverankerungen leicht möglich ist, zu verhindern, legt man um den zu bewegenden Zahn ein Band, das mit einer Oese versehen ist, und verankert die Kraftquelle an dieser Oese. Die Wirkung auf den Zahn ist dann dieselbe, wie bei einer richtig liegenden Ligatur. Soll eine kippende Wirkung der Kraft auf den Zahn vermieden werden, so legt man um diesen ein Band mit einem nach der Wurzelspitze zu gerichteten Sporn. Die Kraft wird durch den Sporn auf das Band und von diesem auf den Zahn übertragen. Das Band läßt nun die Kraft an zwei in Richtung der Längsachse möglichst entfernt von einander liegenden Punkten des Zahnes angreifen und bewirkt so eine Verschiebung desselben parallel zu seiner Längsachse.

Bei den bis jetzt besprochenen Anordnungen kann sich der Apparat, der die Kraft ausübt, in jeder beliebigen Ebene gegen den Zahn bewegen. Je nach Wahl des Angriffspunktes können die verschiedenartigsten, von der ursprünglichen Richtung der Kraft abweichenden Nebenbewegungen hervorgebracht werden. Eine solche Verankerung nennt man **vielgelenkig.**

Zur Befestigung des Apparates, insbesondere zur Befestigung der Enden eines Apparates an den Zähnen, werden sehr häufig Röhrchen verwendet, die an ein um den Zahn gelegtes Band verlötet oder gelenkig mit diesem verbunden sind. Das Röhrchen sei z. B. parallel zur Längsachse des Zahnes fest mit dem Band desselben verlötet. Das Ende des Regulierungsbogens sei abgebogen und in das Röhrchen eingeführt. Haben nun Bogen und Röhrchen kreisrunden Querschnitt, dann kann der Zahn gegen den unbeweglich gedachten Apparat nur eine Bewegung, und zwar eine Drehung um die Längsachse des Röhrchens aus-

führen. Die Verankerung ist **eingelenkig.** Die Kraft wird zunächst durch den Apparat auf das Röhrchen und dann weiter auf Band und Zahn übertragen.

Wird der Apparat fest mit dem Band, das um den Ankerzahn zu legen ist, verlötet oder wird der Querschnitt des Röhrchens und des in demselben steckenden Bogenabschnittes nicht rund, sondern oval oder eckig ausgeführt, dann ist keine freie Bewegung gegen den Zahn möglich, die Verankerung ist **starr.** Sie überträgt die Kraft gleichartig und gleichmäßig auf alle Teile des Zahnes. Die Führung des Zahnes ist nun völlig zwangsläufig, er kann nach keiner Ebene hin ausweichen.

Bei vielgelenkigen Verankerungen, wie sie in der Kieferorthopädie z. B. mit Hilfe von Ligaturen oder Fingern erzielt werden, können im allgemeinen leicht auzuführede Kippbewegungen ausgelöst werden. Wird ausnahmsweise die Kraft in Höhe des Drehpunktes gelegt, dann wird eine in der Richtung der Kraft schwer auszuführende körperliche Bewegung sich einstellen. Bei der eingelenkigen Verankerung wird eine Bewegung, bei der starren dagegen alle Bewegungen des Ankerzahnes durch den Biegungswiderstand des Apparates und der mit diesem verbundenen Nachbarzähne erschwert. Durch entsprechende Ausführung der Verankerung kann somit die Bewegung eines Zahnes in einer bestimmten Richtung erleichtert bezw. erschwert werden.

Nach der Größe des Widerstandes, bezw. dem Ausmaß der Bewegungen einzelner Zähne oder Zahngruppen, können die Verankerungen eingeteilt werden in **reziproke** (wechselseitige) und **stationäre** (beharrende). Wird zwischen zwei Zähnen oder Zahngruppen, die etwa gleich große Widerstandsfähigkeit haben, eine Kraft eingeschaltet und auf beide Zähne oder Zahngruppen gleichartig übertragen, dann werden sich diese in gleicher Weise, aber entgegengesetzt bewegen. Bezeichnet man einen Zahn als Ankerzahn, dann ist jeder Zahn Ankerzahn für den anderen. Die Verankerung ist reziprok. Werden dagegen von den Zähnen, die in ein Kräftesystem eingeschaltet sind, einzelne bewegt, andere nicht, dann bezeichnet man die Verankerung als stationär. Sollen sich z. B. die Ankerzähne unter der auf sie einwirkenden Kraft nicht bewegen, dann muß ihr Widerstand größer sein als der Widerstand der zu bewegenden Zähne. Große Widerstände und damit stationäre Verankerungen können erzielt werden durch Verteilung der Kraft auf große Widerstände, durch starre Kraftübertragung oder durch Gegenwirkung ein oder mehrerer anderer Kräfte. Mit anderen Worten: Die stationär verankerten Zähne müssen trotz ihrer Einschaltung in das Kräftesystem unbeweglich an ihrem Platz bleiben, während bei der reziproken Verankerung sämtliche in das Kräftesystem eingeschalteten Zähne gleichzeitig bewegt werden. Hierbei werden uns auch die Begriffe vom **Ausgangspunkt** und **Angriffspunkt** einer Kraft klar.

Bei der stationären Verankerung muß die Wirkung der Kraft am Ausgangspunkt verhindert werden, bei der reziproken Verankerung dagegen wird sie an beiden Angriffspunkten ausgenützt. Den Ausgangspunkt der Kraft hat man sich also als festen Widerstand zu denken, während der Angriffspunkt als der Teil im Kräftespiel der orthodontischen Regulierungsmaschine erscheint, der einer Bewegung unterworfen werden soll.

Nach diesen grundlegenden Ausführungen wollen wir nun die Eigenschaften und Wirksamkeit der einzelnen modernen orthodontischen Kraftquellen eingehend untersuchen. Zunächst soll uns die **Schraubkraft** beschäftigen. Wie wir aus dem geschichtlichen Ueberblick gesehen haben, fand die Schraube früher sehr ausgedehnte Verwendung. Sie ist aber infolge ihrer Plumpheit, ihres störenden Einflusses beim Sprechen und Kauen, sofern sie quer über den Gaumen lief, und infolge ihrer kraftvollen und intermittierenden, also unphysiologischen Wirkungsweise heute fast ganz verlassen. Lediglich die Zug- und Druckschraube nach Angle verdienen noch einiges Interesse und deshalb hier kurz erwähnt.

Die **Zugschraube** besteht aus einem Stück Draht aus Neusilber, das an einem Ende in scharfem, rechtem Winkel abgebogen und am anderen Ende mit einem Gewinde versehen ist. Der Draht gleitet in einer langen Röhre, gegen deren Ende eine Schraubenmutter wirkt. Das kurze, abgebogene Ende des Schaftes greift in ein kurzes Röhrchen ein. Die beiden Röhrchen werden an die Bänder der Anker- und der zu bewegenden Zähne gelötet und bilden so das Mittel zur Anbringung der Schraube und zur Uebertragung der Kraft. Die genaue Dosierung dieser sehr starken intermittierenden Kraft ist sehr schwer zu erreichen. Angle empfiehlt eine halbe Umdrehung täglich als Höchstgrenze.

Die **Druckschraube** besteht aus einer mit einem Gewinde versehenen Spindel, die vorn eine knopfartige Verdickung trägt. Auf diese Spindel paßt eine Schraubenmutter, die zwecks Kraftausübung mit einem Schraubenschlüssel angezogen wird. Als Basis dient eine nahtlose Röhre, die, wie überhaupt der ganze Apparat, aus Neusilber besteht. Außerdem ist diese Schraube mit einem Friktionsansatz versehen, der ein Aufdrehen derselben mit der Zunge verhindert. Heute wird die Schraubkraft fast nur noch beim Expansionsbogen nach Angle verwendet und sei im Zusammenhang mit diesem besprochen. Eine Berechnung der von der Schraube erzeugten Kraft ergibt sich aus der Formel

$$P = \frac{\varsigma \cdot E \cdot F}{l}$$

wobei ς die Strecke ist, um welche die Schraube verlängert oder verkürzt wird, E den Elastizitätsmodul, F den Querschnitt und l den Abstand der beiden Körper angibt, zwischen welche die

Schraube eingespannt ist. Beträgt z. B.

$$\varsigma = 0{,}1 \text{ cm}, \quad E = 500000 \text{ kg / cm}^2$$
$$F = 0{,}008 \text{ cm}^2, \quad l = 2 \text{ cm}$$

so wird

$$P = \frac{0{,}1 \cdot 500000 \cdot 0{,}008}{2} = 200 \text{ kg}.$$

Größere Bedeutung als die Schraubkraft haben die Elastizitätskraft des **Gummis** und die Kontraktionskraft der **Seidenligatur.** Früher, als man die genaue Kraftwirkung des Gummizuges noch nicht kannte, stellte dieser eine schwer kontrollierbare Kraftquelle dar, die infolge eventueller Ueberbelastung des Gewebes eine Gefahr für das Zahnbett mit sich brachte. Seit dem aber **C. Bertram** im Jahre 1931 seine Versuchsergebnisse mit der orthodontischen Gummiligatur veröffentlichte, lassen sich deren Kraftwirkungen genau übersehen. Bertram kontrollierte mehrere Gummibänder auf Belastung sowie Größe der Ausspannung. Er bekam für Angles Gummiligaturen „large" folgende Ergenisse:

Belastung in g	Ausspannung in mm	
	Weg mit Belastung	Rückweg ohne Belastg.
15	10	10
40	12	12
70	15	15
100	20	20
130	25	25
170	31	32
200	36	37
240	41	42

Bei Verwertung der Ergebnisse dieser Tabelle in einer graphischen Darstellung ergibt sich, daß die Spannung etwa direkt proportinal der Belastung ist. Weiter kann man aus der graphischen Darstellung für jede beliebige Spannung in mm die zugehörige Kraftwirkung in g ablesen.

Auf gleiche Weise läßt sich auch das Verhalten anderer Gummibänder graphisch darstellen. Das Verhältnis ihrer Ausspannung zu ihren dabei vermittelten Kräften läßt sich so jeweils ohne weiteres feststellen.

Ein anderer Versuch Bertrams zeigt, daß bei einer Dauerbelastung die Kräfte der Gummiligatur innerhalb von 24 Stunden um 10 — 20 % zurückgehen. Bei weiterer Belastung ergibt sich dann aber, daß sie einige Tage ziemlich gleiche Höhe halten. Allzugroße Unterschiede in der Kraftwirkung sind also nicht zu befürchten.

Die Ergebnisse vorstehender Messungen und Berechnungen müssen uns zu der Ueberzeugung bringen, daß der Gummi ein ziemlich guter, in seiner Kraftwirkung leicht kontrollierbarer Kraftquell ist. Ein großer Nachteil liegt nur darin, daß er durch die Mundflüssigkeit erfahrungsgemäß stark angegriffen wird und deshalb alle 3 bis 4 Tage ausgewechselt werden muß.

Zur Erzeugung schwächerer Kraftwirkungen, als sie der Gummizug vermittelt, wird auch die Seidenligatur verwendet. Feuchtet man nämlich einen Seidenfaden an, so verkürzt er sich nicht unwesentlich. Diese Eigenschaft des Seidenfadens kann sowohl zur Erzeugung von Kräften wie auch zu größeren Bewegungen benutzt werden. Winkler hat durch eingehende Versuche festgestellt, daß sich ein Seidenfaden bei dauernder Anfeuchtung und mäßiger Belastung (1 g) auf ungefähr 10% seiner früheren Länge verkürzt. Bei starker Belastung (100 g) jedoch tritt eine Verlängerung des Fadens und keine Verkürzung ein. Ein starkes Anspannen beim Einlegen des Fadens ist also unzweckmäßig, wenn eine stärkere Bewegung erzielt werden soll.

Zur Feststellung der mit dem Seidenfaden erzeugbaren Kraft befestigte Winkler einen trockenen Faden an zwei Drähten, die in einem Abstand $l = 10$ cm von einander angebracht waren. Nach Anfeuchtung des Fadens ergab sich ein Ausschlag des Drahtes, d. h. ein Senkungswert $\varsigma = 1{,}4$ cm. Setzt man den Elastizitätsmodul $E = 500000$ sowie das Trägheitsmoment $I = 0{,}0000072$ als bekannt voraus, so erhält man aus der Formel

$$P = \frac{3\,\varsigma \cdot E \cdot I}{l^3} \quad \text{eine Kraft}$$

$$P = 15 \text{ g}.$$

Der Seidenfaden, dessen geringer Grad von Elastizität die Vitalität des Zahnes nicht so sehr in Gefahr bringt wie der Gummizug, zeigt also eine außerordentlich zarte Kraftentfaltung.

Die weitaus wichtigste Kraftquelle der modernen Orthodontie ist die **Elastizitätskraft federnder Drähte** in irgend einer Form. Die einfachste Form des elastischen Drahtes ist der **Hebel.** In Anlehnung an den primitiven Hebel in Gestalt eines Metallfingers, wie wir ihn im geschichtlichen Teil kennen gelernt haben, konstruierte Angle einen Hebel, mit dem man falsch stehende Zähne sowohl mittels einer Ligatur um ihre Achse drehen, als auch durch direkten Zug oder Druck (je nach Verankerung und Aktivierung) in ihre richtige Stellung bringen kann. Die ausgeübte Kraft kann insofern bemessen werden, als man nur den Hebel von größerem Durchmesser durch einen von kleinerem ersetzen braucht und umgekehrt.

Als nächste Form des elastischen Drahtes haben wir den **Expansionsbogen.** Die früher beschriebenen Expansionsbögen (Fauchard, Lefoulon, Schange, Patrik) waren so roh und plump, ihre Kraftwirkungen so unübersichtlich und ihre Verwendungs-

möglichkeiten so begrenzt, daß sie sich in der allgemeinen Praxis nicht durchsetzen konnten. Erst die Konstruktion von Angle erfüllte die in den Expansionsbogen gesetzten Erwartungen und brachte einen bedeutend besseren Ueberblick seiner Kraftverteilung sowohl hinsichtlich seiner Bewegungsfähigkeit anormal stehender Zähne als im Bezug auf die Stabilität seiner Verankerung, sodaß er in der gesamten orthodontischen Praxis sehr rasch Eingang und allgemeine Verwendung fand. Dieser Expansionsbogen, der nun im Gegensatz zu der früheren flachen, viereckigen oder halbrunden Form eine runde und deshalb stabilere und elastischere Form besitzt und annähernd der Gestalt des idealen Zahnbogens entspricht, besteht aus Neusilber und ist mit einem an beiden Schenkeln aufgeschnittenen Gewinde versehen. Der Bogen, dessen Durchmesser 1,3 mm beträgt, expandiert, nivelliert und verlängert die Zahnbögen. Seine Elastizität übt einen Druck im Frontzahngebiet und einen Zug im Prämolaren- und Molarengebiet aus durch Vermittlung von Ligaturen und Vollbändern. Durch Verwendung eines versteiften Bogens und Einkerbung der Versteifung zum Zwecke sicherer Lage der Ligaturen gewinnt man eine genaue Kontrolle über die Richtung der Kraft zur Bewegung der Zähne. Auch gewährt die ideale Form des Bogens eine ziemlich vollkommene Wechselwirkung der Kraft zwischen einem bewegten Zahn und dem andern sowie zwischen einer seitlichen Hälfte des Zahnbogens und der anderen. Zur Vorwärtsbewegung der Eckzähne und ersten Prämolaren werden die Schraubenmuttern des Expansionsbogens vor den Röhrchen der Ankerzähne angezogen. Dadurch wird der Bogen nach vorne bewegt und übt so eine starke Kraft in der gewünschten Richtung aus. Soll ein Zahn um seine Achse gedreht werden, so wirkt der Expansionsbogen mit Hilfe einer Ligatur wie ein doppelter Hebel, indem er einerseits einen Druck und andererseits einen Zug ausübt. Einseitige Drehung wird erreicht durch stärkeres Abbiegen des Bogens auf der zu drehenden und zusammenfassenden und möglichst großen Widerstand auf der anderen Seite der Gegenwiderstand gleich groß ist.

Wir sehen also, daß nahezu alle Bewegungen mit Expansionsbogen ausgeführt werden können. Nach langjährigen Erfahrungen ist man jedoch zu der Ueberzeugung gekommen, daß auch ihm mannigfache Mängel anhaften, ein Umstand, der zu stetigen **Verbesserungen der Kraftwirkung** und **-Dosierung** der ganzen Apparatur führte. Vor allem die histologischen Untersuchungen Oppenheims (1911) über die Art der Gewebsveränderungen nach orthodontischen Maßnahmen ergaben wichtige Schlußfolgerungen für die Natur der anzuwendenden Kräfte. Sie hatten gezeigt, daß nur ganz geringe, den physiologischen Einflüssen gleichkommende Kräfte eingesetzt werden dürfen, sodaß die Umbildung des Knochens gleichen Schritt halten kann mit der Bewegung der Zähne. Die Federkräfte des Anglebogens

sind ja im Vergleich zu den gewaltigen, groben Drucken einer Dehnungs- oder Zugschraube als eine bedeutende Verbesserung anzusehen. Im Hinblick auf den langsamen Verlauf der als Vorbild geltenden physiologischen Zahnbewegungen (Zahndurchbruch, Zahnwanderung) und der mit jeder Bewegung des Zahnes verbundenen weitgehenden Umformung des Knochens erweisen sie sich jedoch noch als viel zu groß und nicht so fein dosierbar, wie es wünschenswert ist (Kippung infolge zu kräftiger und zu rascher Bewegung).

Um nun eine biologische Einwirkung der Kräfte auf die Zähne zu erhalten, suchte man an die Stelle des verhältnismäßig starren Neusilberbogens einen flexibleren zu setzen, der durch eine hochgradigere Elastizität eine feinere Kräftedosierung erlaubte. Der aus unechtem Metall bestehende Bogen besaß keine hinreichende Biegungsfähigkeit, um ihn den vorliegenden Verhältnissen entsprechend für den Fall zu formen, und vertrug außerdem keine Hartlötung. Nach vielen Versuchen konkurrierender Edelmetallfirmen entstanden schließlich **Goldplatinlegierungen** von hervorragender Qualität, die alle gestellten Bedingungen erfüllen. Sie sind weitgehend biegungsfähig, lassen sich hart löten, ohne ihre Elastizität merklich einzubüsen und weisen eine kleine, aber hochgradige Elastizität auf, d. h. lassen die Anwendung feinster Federkräfte zu. Man kann sie sogar weich machen und nach der Formung wieder härten.

Dies alles erlaubt die Dimensionen der Apparatur ganz bedeutend herabzusetzen und auf diese Weise die elastischen Kräfte noch zu verfeinern. Von einem Durchmesser von 1,3 mm, den der alte Neusilberbogen gehabt hatte, ging man auf 1,0 und 0,8 mm herunter. Bei Benutzung besonderer Verankerungsvorrichtungen läßt sich die Bogenstärke sogar auf 0,7 bis 0,6 mm verringern. Mit derartig dünnen Federdrähten ist man in der Lage kontinuierliche, schwächste Kräfte wirken zu lassen; gilt es doch heute nicht mehr den Widerstand der Zähne mit großen Drucken unter Gewaltanwendung zu brechen, sondern es genügt ihnen einen zarten Bewegungsreiz in der gewünschten Richtung zu geben, dem sie in ähnlicher Weise wie bei den physiologischen Zahnbewegungen folgen, d. h. also, daß die Knochenumformung gleichen Schritt halten kann.

Die Untersuchungen Oppenheims zeigten ferner, daß auch die Schraube an den Bogenenden des Expansionsbogens bei Streckung des Kiefers eine zu starke, Zahn, Zahnbett und Knochengewebe schädigende Krafteinwirkung vermittelt. Die beim Andrehen der Muttern ausgelösten intermittierende Kräfte werden wohl gemildert durch die Elastizität des Bogens, sie bleiben aber immer intermittierend mit einem brüsken Druck zu Beginn und einem schnellen nachfolgenden Abschwellen. Um diese unbiologischen Druckstöße auszuschalten, setzte Grünberg zwischen Bogenmutter und Ankerröhrchen eine Spiralfeder,

wodurch der Bogen auch in sagitaler Richtung dauernd wirkende Kräfte ausüben kann. Der Nachteil dieser frei liegenden Spiralfeder ist einmal in der unangenehmen Retension von Speiseresten und vor allem in dem Fehlen jeder meßbaren Regulierung der durch das Anziehen der Muttern ausgelösten Federkräfte zu suchen. Eine Verbesserung ist die von Tacail angegebene Spiralfeder, die abgeschlossen in einer Kanüle liegt und deren Wirksamkeit sich auf den mm genau einstellen läßt, sodaß die Zähne nur eine im voraus bestimmte Strecke unter dem Einfluß der schwachen, kontinuierlichen Kräfte stehen. Diese Anordnung bewirkt eine langsame Bewegung und verhindert jedes Uebermaß an Bewegung, da sich die Kräfte bei erreichtem Ziel automatisch ausschalten. Die klobige Dicke der Pufferfeder dürfte der einzige Grund sein, warum sich dieser Apparat nicht durchgesetzt hat.

In dem Bestreben, die sagittale Federwirkung des Expansionsbogens mittels Schraubenwirkung, d. h. also auf indirektem Wege, auszuschalten, kam Lowe Joung auf den Gedanken, die hochgradige Elastizität des modernen Edelmetallbogens selbst auf direkte Weise in sagittaler Richtung zur Wirkung zu bringen. Er legte zu diesem Zwecke vor das Schloß, mit dem er den Bogen an dem Ankerbande befestigte, eine **U-förmige Biegung,** wie sie einige Jahre vorher Ainsworth schon in seinem Dehnungsapparat angewendet hatte. Durch allmähliche Oeffnung der U-Schlinge wird der Bogen verlängert, sodaß er bei einer Befestigung an den Frontzähnen eine sagittal gerichtete Spannung erhält. Auch an anderen Stellen des Bogens kann durch Einschalten derartiger Schlingen die Möglichkeit einer Streckung oder Kürzung einzelner Teile des Zahnbogens geschaffen werden. Die Auslösung dieser schwachen kontinuierlichen Kräfte geschieht durch Abflachen der Schlinge. Allerdings birgt dieser Apparat die Gefahr in sich, daß ein unkorrektes Abflachen der U-Schlinge die Beziehungen des Bogens zu den Zähnen verändert und unerwünschte Folgen für die Stellung der zu bewegenden Frontzähne sowie der Ankermolaren hat.

Die Gefahren der U-Schlinge werden bei dem neuesten, körperlich wirkenden Apparat Angles, dem **„horizontalen Bandbogen“** vermieden, da der Bogen hier in einer horizontalen Kanüle liegt. Um dem Bogen eine federnde Streckung zu gegeben, wird ein kleiner, genau auf seinen rechteckigen Querschnitt passender Ring über den Bogen gezogen, sodaß er zwischen das vordere Ende der Befestigungskanüle und einen Anschlag am Bogenende zu liegen kommt. Auf diese Weise entsteht eine sagittalwärts gerichtete Spannung.

Zur Erzielung sagittal gerichteter Federkräfte beschrieb auch Arnold vor wenigen Jahren eine Anordnung, die wesentlich zarter und nachhaltiger wirkt als die beiden vorstehenden Konstruktionen, welche die Bogenelastizität in Richtung der Bogenachse ohne Zwischenschaltung einer Feder beanspruchen. Es

handelt sich bei dem Arnold'schen Apparat um eine dünne, elastische **Drahtschlinge,** die in Art der Fingerfederchen des Lingualbogens, auf die wir weiter unten zu sprechen kommen, etwa 1 cm vom Molaren entfernt am Außenbogen angelötet ist. Nach einer V-förmigen Biegung nähert sie sich wieder dem Bogen, schlingt sich um ihn herum und stützt sich dann an dem Ankerröhrchen ab. Bei dem geringen Durchmesser des Drahtes von 0,5 - 0,6 mm und der hochgradigen Elastizität des Edelmaterials kommen nur feinste Kräfte zur Auswirkung, die sich zudem hier noch auf eine ganze Anzahl von Zähnen verteilen. Die biologischen Belange sind also weitgehend berücksichtigt.

Haben wir uns zuletzt mit der Kraftwirkung des Expansionsbogens an und für sich und der Verbesserung seiner Kräftedosierung beschäftigt, so wollen wir nun unsere Aufmerksamkeit der **Kräfteverteilung** beim Expansionsbogen sowie den Verbesserungsbestrebungen der auftretenden Mängel zuwenden. Theoretisch ist wohl die Arbeitsleistung des Bogens an jeder Stelle gleich, wenn man sich ihn in der Mitte unterstützt denkt. Die Expansionswirkung ist aber an den Bogenenden am intensivsten, während sie in der Gegend der Eckzähne und ersten Prämolaren sehr gering ist (langer Weg bei den Ankermolaren, kurzer Weg bei den Eckzähnen und Prämolaren). Bertram weist dies in sehr einleuchtenden Versuchen nach (Korkhaus „Moderne orthodontische Therapie"). Er legt dabei sein Hauptaugenmerk auf den Teil der Bewegungsbahnen des Bogens, der von praktischer Bedeutung ist, nämlich auf die Bahnen des Bogenmittelpunktes (M), der Bogenenden (S) sowie vor allem auf die Bahn des Punktes in der Eckzahngegend (E). Die wesentlichen Ergebnisse seiner Arbeiten, die aus Abbildung 10 klar hervorgehen, sind folgende:

1. Die Bukkalbewegung der Molaren ist nicht absolut transversalwärts, sondern mit der Transversalbewegung ist gleichzeitig eine Mesialbewegung verbunden. Die Auswirkung der Kraft geschieht also etwa senkrecht zur Richtung des Kieferbogens.
2. In dem Maße wie der Bogen an Breite zunimmt, verlegt sich der Bogenmittelpunkt nach unten und umgekehrt.
3. Die Bukkalbewegung der Eckzähne und ersten Prämolaren wird vom Expansionsbogen nur in sehr unvollkommener Weise bewerkstelligt; denn der Eckzahnpunkt (22 mm vom Bogenmittelpunkt entfernt) bewegt sich im Vergleich zu dem Bogenscheitelpunkt und den Bogenendpunkten nur etwa im Verhältnis 1 : 2 : 4. Die Bewegung erfolgt außerdem fast parallel zum Normalbogen, sie ist also mehr distal und kaum bukkal gerichtet.

Sehr aufschlußreich ist auch eine graphische Darstellung von Bertram, bei der man die jeweilige Entfernung der Bogenendpunkte von der Mittellinie (d. h. also die jeweilige Bogen-

breite) nach beiden Seiten als Abszisse abträgt und bei der man in gleicher Weise von den jeweiligen Bogenendpunkten ausgehend die Länge des Bogens als Ordinate abträgt; sie ergibt eine Kurve mittels deren man das Verhältnis zwischen Bogenbreite und Bogenlänge in jedem Falle gurch Ziehen der beiden Senkrechten einfach ablesen kann. Die sich ergebenden Werte sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Höhe	16	22	29	33	36	37	39	40
Breite	94	86	72	60	52	44	36	16

Zur Ausschaltung der oben aufgezeigten Mängel des Expansionsbogens kam es zu verschiedenen Neukonstruktionen. Hier ist zu erwähnen der **Körbitzsche Frühdehnungsapparat,** der seine Hauptdehnung in die Eckzahn- und Prämolarengegend verlegt durch Gummiligaturen als hauptsächliche Kraftquelle. Ferner sind die **ligaturlosen Bögen** von **Knoche** und **Simon** mit Abknickung der Bogenenden von Bedeutung. Mit ihrer Hilfe ist ebenfalls eine bevorzugte Bukkalbewegung der vorderen Seitenzähne gewährleistet. Die hervorragendste Verbesserung liegt jedoch in der Idee des **2-Ebenen-Bogens von Körbitz.** Seine Wirkungsweise wollen wir uns an 2 Abbildungen klar machen (Abb. 11 und 12).

Die beiden Bögen unterscheiden sich dadurch, daß in Abb. 11 der Bogen in einer Ebene liegt, in Abb. 12 dagegen das Mittelstück (M) des Bogens in den Eckzahnpunkten im rechten Winkel zu den Schenkeln (S) aufgebogen ist. Die beiden Bögen, die ursprünglich völlig gleichartig waren, werden an den gleichen Stellen (E = Eckzahnpunkt) gleich stark zusammengedrückt, reagieren aber ganz verschieden, wie die gestrichelten Linien zeigen. Ebenso verschieden müssen auch ihre orthodontischen Wirkungen sein. Beim Zusammendrücken des ersten Bogens im Eckzahnpunkt ergibt sich folgendes:

1. Der Scheitel des Bogens steigt in der Horizontalebene.
2. Die Schenkel des Bogens bewegen sich nach innen, aber ungleichmäßig.
3. Der Bogen reagiert steif und übertrieben.

Beim Zusammendrücken des zweiten Bogens wie beim ersten, ergibt sich folgendes:

1. Der Scheitel des Bogens steigt in der Vertikalebene.
2. Die Schenkel des Bogens bewegen sich nach innen und zwar vom Eckzahn bis zum Molaren vollkommen gleichmäßig.
3. Die Wirkung ist weich und nicht übertrieben.

Der große Vorzug des 2-Ebenen-Bogens, dessen Hauptangriffspunkte die Eckzähne sind, ist der, daß er den verschiedensten Verhältnissen angepaßt werden kann, wenn man nur

unbeirrt durch die sich ergebende Form der Ausführung dem einfachen Grundgedanken treu bleibt. Der 2-Ebenen-Bogen ist ein Expansionsbogen, bei dem die bewegenden Teile (Schenkel) in der einen Ebene und die federnden Teile (Mittelstück) in der anderen Ebene liegen.

In diesem Rahmen der Verbesserungsbestrebungen der Kräfteverteilung des Expansionsbogens sind auch die Apparate mit Innenspindel von Bedeutung. Bindet man bei einem einfachen Expansionsbogen, der im Bereich der Ankerzähne Expansion hat, die Prämolaren an, so werden jene nach anfänglicher Auswärtskippung in dem Maße wieder nach innen gedrückt, wie die Prämolaren sich bukkalwärts einstellen. Dies bedeutet natürlich ein luxierendes Moment für die Anker-Zähne. Sollen diese wirklich an ihrer Stelle bleiben, so ist dem Bogen nur soviel Federkraft zu geben, daß die komprimierende Wirkung, die durch das Anbinden der Prämolaren auf die Ankermolaren entsteht, neutralisiert wird. Die Größe dieser geringen Expansionskraft ist aber eine absolute Unbekannte, da die Stabilität der Ankermolaren und die Reaktionsweise des Knochens selbst bei Patienten gleichen Alters individuell sehr verschieden sein kann. Diese Gefahr der ungünstigen Beeinflussung der Ankermolaren wird durch Expansionsbögen mit Innenspindel, vor allem beim **Federbalkenapparat nach Simon** vermieden, bei dem ein 2 mm starker Nikelindraht lingual vom zweiten Molaren bis zum Eckzahn reichend an dem Ankerband angebracht ist. Bei ihm verteilen sich die Expansionskräfte wesentlich besser auf die vorderen Seitenzähne, wie es für die Kieferdehnug meist zweckmäßig ist; denn der Lingualbalken stellt einerseits in gewissem Sinne eine stationäre Verankerung des Molaren dar, andererseits hat er den Zweck mit dem Ankermolaren sämtliche anliegenden Zähne mit nach bukkal zu bewegen unter Vermeidung von irgend welchen Ligaturen. Je nachdem wir den Bogen aktivieren, können wir so die Expansion auf alle Seitenzähne gleichmäßig verteilen oder nur in das Gebiet der Eckzähne und Prämolaren verlegen.

Ein weiterer Nachteil des Expansionsbogens ist, wie Angle allmählich selbst erkannte, eine häufige unerwünschte Kippung der bewegten Zähne. Um diesem Mangel abzuhelfen, ließ er die Kraft des Bogens nicht mehr an einem Punkt des zu bewegenden Zahnes angreifen, sondern faßte den Zahn, der sich physikalisch bekanntlich wie ein Hebel verhält, an zwei Stellen seiner Längsachse. So kann dieser parallel zu sich selbst an seinen neuen Platz bewegt werden. Man bedient sich dabei sowohl einer vertikalen wie horizontalen Verankerung. Beide Konstruktionen stammen von Angle und zeigen eine wesentlich andere Kraftwirkung als der gewöhnliche Expansionsbogen. Der **vertikale Bandbogen,** der aus Platingold besteht und eine Stärke von 0,5 mm bei einer Breite von 0,9 mm besitzt, vermag

infolge seiner hochgradigen Elastizität allen Krümmungen in horizontaler und vertikaler Richtung zu folgen. Dabei geht keine Kraft verloren; dann wieviele verschiedene Abbiegungen durch Zug oder Druck von zahlreichen Widerstandspunkten auch nebeneinander erfolgen sollten, sie erwiedert der Bogen durch gleichgroße Gegenzug- oder Gegendruckwirkungen. Der Bogen strebt immer wieder in seine Ruhelage zurück, sobald seine Elastizitätsgrenze nicht überschritten war. Auch kann man diesem Bogen eine Drehungselastizität geben. Die Richtung und die Größe der Kraft hängt dabei von der Neigung ab, den die Breitseite des Bogens zu der Richtung der Befestigungsvorrichtung hat. Zu einer labialen Bewegung z. B. erhält der Bogen an der betreffenden Stelle ein Torsion mit der Zange, sodaß die gingivale Kante labialwärts abgebogen ist. Nach dem Einschnappen in das Winkelband übt der Bogen dann eine in dieser Richtung wirkende Kraft auf die Wurzel aus, während die Krone an ihrem Platze bleibt. Auch Verlängerungen und Verkürzungen einzelner und mehrerer Zähne kann man mit diesem Bogen ausführen. Dasselbe Prinzip wie der vertikale Handbogen verfolgt auch der **horizontale Handbogen** Angles sowie einige Konstruktionen anderer Autoren, wie z. B. der **Schlitzröhrchenapparat von Mc Coy,** sodaß wir auf die Beschreibung ihrer Wirkungsweise nicht näher einzugehen brauchen. Fast alle möglichen Bewegungen können mit diesen Apparaten ausgeführt werden und zwar zu gleicher Zeit. Doch mit der Vermehrung der mechanischen Möglichkeiten dieser Bögen sind auch die Schwierigkeiten verstärkt, die darin liegen, die verschiedenartigsten, sich summierenden oder durchkreuzenden Kraftwirkungen des Bogens zu durchschauen und ungewünschte Spannungen zu vermeiden.

Schon in früherer Zeit versuchte man auch einen lingual liegenden Expansionsbogen zu Regulierungszwecken anzuwenden. Der erste **Lingualbogen** wurde im Jahre 1839 von Lefoulon angegeben. Das Fehlen eines dauernd elastischen Materials zu dieser Zeit, das damalige Verlangen der Orthodontisten nach starken Schraubkräften zur Bewegung der Zähne, haben wohl eine allgemeinere Anwendung des Apparates verhindert. Anfang 1900 greift Jackson den Gedanken des Lingualbogens wieder auf. Er benützt einen U- oder W-förmigen Bogen aus unechtem Material (Neusilber). Kleine **Fingerfederchen** besorgen die Zahnbewegungen im Frontteil, während die Expansion der Seitenzähne durch Ausbiegen des Hauptbogens erfolgt. Die Formen des Hauptbogens beim Jackson-Apparat sind in Abb. 13 veranschaulicht.

a.) Bogen zur Bukkalbewegung der Eckzähne und Praemolaren.
b.) und c.) Bögen zur Bukkalbewegung sämtlicher Zähne.

Je nach der Form des Bogens und der Stelle der Abflachung läßt sich also die größte Dehnung in das Gebiet der Eckzähne und ersten Praemolaren oder Molaren legen. Diese Bögen ver-

mitteln zwar eine Gruppenbewegung der Zähne, doch durch Einschaltung von Fingerfederchen ist eine weitgehende Berücksichtigung von Einzelbewegungen möglich.

In neuerer Zeit erkannte vor allen Mershon, daß die wertvollste Eigenschaft des Jackson-Apparates in der Verwendung feiner Federchen zur Zahnbewegung besteht. Mit diesen ist es ohne Mühe möglich geringe, kontinuierliche Kräfte anzuwenden und alle Zahnbewegungen ineinandergreifend zu bewirken. Dies entspricht auch der ganzen Tendenz der modernen Orthodontie, die ja auf eine Verfeinerung der Regulierungskräfte, auf eine möglichst kontinuierliche Kräfteeinwirkung gerichtet ist. Diese Bestrebungen sind auf die Röntgenuntersuchungen von Ketcham zurückzuführen, die wir weiter unten noch besprechen werden.

Der **Lingualbogen nach Mershon** besteht aus einem hochflexiblen Bogen aus Edelmaterial (Platinirridium) und besitzt einen Durchmesser von 0,8—1,0 mm, während die Fingerfederchen nur eine Stärke von 0,4—0,5 mm, manchmal sogar nur von 0,3 mm haben. Er benützt auch zur Expansion der Seidenteile Fingerfederchen. Mit der Gruppenbewegung lassen sich so alle noch außerdem notwendigen Einzelbewegungen dieser Zähne, z. B. Drehung, Mesial- bezw. Distalverschiebung, gleichzeitig miterledigen. Der Hauptbogen ist in erster Linie Operationsbasis, von der aus die eigentlich aktiven Teile, die elastischen Federchen, wirken.

Auch beim Lingualbogen haben wir verschiedene Konstruktionen, die aber alle das selbe Prinzip verfolgen. Erwähnenswert wäre nur noch der **Lingualbogen nach Lourie,** bei dem die Auslösung der Druckkräfte durch Quetschen des Drahtes entsteht, den man so um $^1/_4$ bis $^1/_2$ seiner ursprünglichen Länge strecken kann. Als Material wird 16 %iger Platinirridiumdraht in einer Stärke von 0,9 mm verwendet. Auch der platinfarbige Degussadraht ist verwendungsfähig, da er gut quetschbar ist. Doch die Wirkungsweise dieses Bogens ist schwer zu übersehen.

Wenn wir nun die Wirkungsweise des modernen Lingualbogens im Vergleich zu dem Labialbogen betrachten, so sehen wir, daß sich alle Kraftübertragungsmittel erübrigen, da der Lingualbogen bezw. seine Federchen mit leichtem Druck den Zähnen am Zahnhals anliegen. Vor allem sind die ausgeübten Kräfte viel zarter und kontinuierlicher als beim Labialbogen. Die Zähne sind hier während der Bewegung frei allen Einflüssen der Funktion und Artikulation, der Zungen- und Wangenbewegung beim Kauen und Sprechen ausgesetzt. Ferner ist eine unerwünschte Kippung der Zähne bei richtiger Dosierung der Kräfte des Lingualbogens kaum zu erwarten; denn eine solche liegt in der Regel an einem zu großen Maß der angewandten Kräfte und an einem zu schnellen Behandlungstempo. Die Kraftwirkungen des Lingualbogens lassen sich gut übersehen, die

Größe der ausgelösten Druckkräfte kann sogar durch besondere Meßapparate jederzeit bestimmt werden (Druckmesser nach Irish und nach Bendias). Auch fällt beim Lingualbogen die doppelte Wirkung auf die Ankerzähne, wie wir sie beim Labialbogen kennen gelernt haben, weg. Die Kraft wirkt immer in einer Richtung, die Ankerzähne können also nur im Verhältnis der Auswärtsbewegung der übrigen Seitenzähne nachgeben.

Den **Fingerfederchen,** die wir als die eigentlich aktiven Teile des Lingualbogens kennen gelernt haben, kommt eine so hohe Bedeutung als Kraftquelle zu, daß wir uns hier noch etwas eingehender mit ihnen beschäftigen wollen. Hergestellt aus einer Gold-Platinlegierung haben sie gewöhnlich einen Durchmesser von 0,4—0,5 mm, während die Länge des freien Federschenkels zwischen 20 und 30 mm variiert. Sie vertragen Hartlötung ohne ihre Elastizität zu verlieren und können bis zu einem Winkel von 180° ohne Bruchgefahr gebogen werden. Im Laufe der Zeit hat sich eine Menge verschiedener **Formen** von Fingerfederchen herausgebildet, sie alle lassen sich aber auf drei Haupttypen von Federchen vereinen, die Abb. 14 zeigt. [n. Korkhaus]

Das einfache Federchen wirkt wie ein einarmiger Hebel, während das rücklaufende Federchen wie ein zweiarmiger Hebel wirkt. Infolge seiner zwei Biegungen hat letzteres bedeutend größere Möglichkeiten des Einflusses auf die Zähne als das erstere. Das Zwischenfederchen erhält seine Spannung an zwei Stellen, nämlich an der Härtungsbiegung der Lotstelle und etwa in der Mitte der Rundung, dort, wo das Federchen eine transversale Richtung einschlägt. Das ganze Geheimnis der mechanischen Wirkungsweise der Federchen liegt in der Kenntnis der durch bestimmte Biegungen ausgelösten Spannungen. Am deutlichsten können wir uns dies an einigen Zeichnungen veranschaulichen (Abb. 15).

Selbstverständlich werden diese Grundformen der Federchen weitgehend verändert, jenachdem welche Aufgaben sie noch zu erfüllen haben. Von besonderer Bedeutung ist die Länge der Federchen, da diese eine bestimmte Beziehung zu der Federwirkung hat. Je länger nämlich der Hebearm ist, um so sanfter sind die Druckkräfte am freien Ende bei gleich großem Abbiegungswinkel. Begrenzt wird diese Möglichkeit jedoch durch die Labilität des Federdrahtes infolge seines geringen Durchmessers, wenn er allzu lange ist.

Von besonderer Wichtigkeit ist es nun die genaue **Größe** der heute in der Orthodontie angewandten Kraftquellen kennen zu lernen. Während uns, wie wir schon gesehen haben, Winkler die Berechnung der Schraubkräfte sowie der Kräfte von Seidenligaturen und Bertram die Feststellung der von den Gummizügen ausgeübten Kräfte zugänglich gemacht hat, verdanken wir unsere Kenntnisse über die Größe der Elastizität von Re-

gulierungsbögen und Fingerfederchen den Arbeiten von Nowak, dessen gründliche Untersuchungen folgende Tabellen ergaben:

I.

Elastische Edelmetallegierung für die Fingerfederchen (Degussa)

Aktivierung in mm	Anlieferungszustand		5 Min. bei 750° geglüht u. abgeschreckt		5 Min. bei 750° geglüht, normal erkaltet, 15 Min. nachgeglüht bei 350°	
	2 cm	3 cm	2 cm	3 cm	2 cm	3 cm
	g	g	g	g	g	g
1	3,25	1,0	3,5	1,0	4,0	0,75
4	14,0	4,0	14,75	4,25	13,5	4,0
8	25,5	7,25	—	7,5	—	7,25
10	—	8,5	—	8,5	—	8,0
Drahtstärke 0,5 mm						
1	8,5	2,75	10,5	4,0	9,25	3,5
4	34,25	11,25	38,5	12,5	33,0	13,5
8	—	20,25	—	24,5	—	20,25
10	—	24,0	—	29,25	—	22,5

z. Tab. I. Größe der elastischen Kräfte in Gramm bei verschiedener Spannung und verschiedener Länge der Federchen.

II.

1.) Edelmetallbögen.

gespannt um mm	gespannt also auf jeder Seite mm	Expansionsbogen Nr. 11 (Degussa) Bogenweite 6 cm Drahtstärke 0,9 mm: Anlieferungszustand g	5 Min. geglüht bei 750° an der Luft erkaltet g	15 Min. angelassen bei 350° g	Bandbogen aus Goldplatinlegierung (S. S. White) Bogenweite 6 cm, Drahtstärke 0,5×0,9 mm: Anlieferungszustand g
2	1	4,5	6,25	8,5	4,0
4	2	12,8	17,75	18,5	9,5
6	3	22,4	27,0	28,2	14,25
10	5	39,0	46,0	48,75	23,75
14	7	56,9	65,2	68,5	31,0

2.) Unechte Bögen (Neusilber) der Schweizer Regulierungs-Apparate mittelhart.

gespannt um mm	also auf jeder Seite mm	Bogenweite 6 cm Drahtstärke 1,3 mm Nr. 5 g	Nr. 7 g	Drahtstärke 1,0 mm Nr. 5 (Kinderbögen) g
3	1	28,0	35,5	13,0
4	2	54,0	75,0	28,5
6	3	87,0	116,0	39,0
10	5	147,0	200,0	67,0
14	7	211,0	255,0	93,0

Nowak hat also festgestellt, daß die Federkraft des Fingerfedermaterials, dessen Elastizitätsgrenze bei einer Abbiegung von 6—8 mm erreicht wurde, durch die verschiedenen Glühbehandlungen nicht wesentlich beeinflußt wird. Bedeutsam ist ferner die starke Zunahme der Federkraft bei Vergrößerung des Drahtdurchmessers um 0,1 mm. Unter den gleichen Bedingungen z. B. wie das Federchen, das bei einer Stärke von 0,4 mm eine Kraft von 8,5 g ausübt, entfaltet ein Federchen von 0,5 mm Stärke eine Kraft von 24 g.

Im ganzen betrachtet ergibt sich also aus vorstehenden Zahlen, daß die Druckkräfte der Federchen im Vergleich zu den Kräften des alten Angle-Bogens und auch des Edelmetallbogens außerordentlich gering sind. Dieser Eindruck wird noch verstärkt, wenn man die Kräfte geformter und an den Bogen gelöteter Federchen betrachtet. Die von einer Feder auf Grund einer bestimmten Aktivierung ausgeübten Kräfte sind um so geringer, je länger und dünner das Federchen ist. Verändert man die Form des einfachen Federchens so, daß die Länge durch Einschalten von schlangenförmigen Windungen und Schlingen vergrößert wird, so werden um so kleinere Federkräfte entwickelt, je größer die Verlängerung ist. Die bei den üblichen Drahtstärken von 0,4—0,5 mm der rücklaufenden Feder ausgelösten Kräfte liegen bei einer Aktivierung von 1 mm überall unter der 15 g Grenze, obwohl ja theoretisch die rücklaufende Feder bei einer Einzelbelastung an den verschiedenen Angriffspunkten des freien, 25 mm langen Schenkels recht verschieden große Kräfte, die sich ungefähr wie 1 : 5 : 20 verhalten, zeigen müßte. Doch tritt dies nicht so sehr in Erscheinung, da wir ja die hauptsächlichsten Bewegungen mit dem freien Ende der Feder ausführen. Wenn man ferner den Befestigungspunkt der Feder nach dem freien Ende zu verschiebt, so nähert sich die an der 180° Biegung entwickelte Kraft dadurch beinahe der Kraft des freien Endes.

Da die Wirkung der Kräfte auch von der **Güte des Materials** abhängig ist, muß dieses bestimmte Bedingungen erfüllen. So müssen die Eigenschaften des Fingerfedermaterials folgenden Forderungen genügen:

1.) Bei Hartlötung darf das Material seine Elastizität nicht verlieren, es muß also vergütbar sein. Auch darf kein merklicher Elastizitätsverlust bei Dauerbeanspruchung eintreten. Ferner muß das Material möglichst kleine elastische Kräfte vermitteln, sodaß eine feine Dosierbarkeit möglich ist.

2.) Das Material muß genügend Biegungsfähigkeit haben, für mindestens 180°, und einen hohen Schnellpunkt besitzen.

3.) Eine gute Homogenität und Unangreifbarkeit für Mundflüssigkeit muß vorhanden sein.

An das Hauptbogenmaterial sind folgende Bedingungen zu stellen:

1.) Das Material muß ziemlich starr und widerstandsfähig sein und darf durch die Rückwirkung der Federchen nicht deformiert werden.

2.) Notwendig ist eine gewisse Elastizität für die Beeinflussung der Ankermolaren und vertikalen Bewegungen der Frontzähne.

3.) Es muß eine Biegungsfähigkeit von mindestens 150—180° besitzen, um den Unregelmäßigkeiten des Kiefers folgen zu können und einen hohen Schnellpunkt aufweisen.

Endlich ist auch die **Beschaffenheit des Lotes** von Bedeutung. Dieses muß schnellfließend und hochkräftig sein und soll möglichst aus gleichen Komponenten bestehen und gleichen Karatgehalt haben wie das Arbeitsstück. Denn die Güte der Lötung steht in direktem Verhältnis zu der Diffusion des Lotes in das zu lötende Material. Eine solche Diffusion kann aber nur stattfinden, wenn das Lot den zu lötenden Teilen angepaßt ist.

Nach diesen grundlegenden Ausführungen über die mechanischen Eigenschaften der einzelnen orthodontischen Kraftquellen ergibt sich nun die bedeutsame Frage nach den **physiologischen Wirkungen,** welche durch diese Kräfte auf Zahn und Zahnbett ausgeübt werden. Zunächst muß festgestellt werden, daß die orthodontische Zahnbewegung erst in zweiter Linie ein mechanisches Problem ist, sondern daß dabei die Notwendigkeiten des Kieferumbaues in erster Linie Berücksichtigung verlangen. Das Symptom des Schmerzes, überhaupt jedes Gefühl der Spannung zeigt schon an, daß die einwirkende Kraft zu groß, d. h. daß die Schwelle des physiologischen Reizes längst überschritten ist. Die Reaktionsart des Knochens ist individuell und je nach dem Alter sehr verschieden; sie ist und bleibt die große Unbekannte, mit der Orthodontist bei jedem Fall auseinandersetzen muß. Die Merkmale, an die er sich in der Hauptsache bei physiologischen Zahnbewegungen zu halten hat, sind Schmerzlosigkeit, gleichzeitiger Umbau der Alveole, völlige Erhaltung der Kaufunktion

und der natürlichen Funktionskräfte des Organismus, also keinerlei starre Einzwängung in eine Apparatur. Diese Bedingungen kennzeichnen die Art der orthodontischen Einwirkung, wie sie nach den heutigen Anschauungen beschaffen sein soll. Zweifellos ist der lebende Knochen, der in der aktiven Entwicklungszeit der Kiefer am schnellsten zu Veränderungen neigt, eines der reaktionsfähigsten, plastischen Gewebe des menschlichen Körpers. Mit Rücksicht darauf, sowie auf die oben angeführten Bedingungen ist nun die Bemessung der anzuwendenden Kräfte der praktisch wichtigste Faktor bei Zahnbewegungen, da er vom Orthodontisten abhängig ist.

Die Untersuchungen Sandsteds und Oppenheims haben die traumatische Wirkung der intermittierenden Schraubkraft aufgezeigt und dafür gesorgt, daß diese gewaltige Kraftpuelle heute kaum noch Verwendung findet. Im Laufe der letzten Jahre brachte Ketcham durch Röntgenuntersuchungen, die er an 500 orthodontisch behandelten Fällen vor und nach der Behandlung vorgenommen hat, wichtige Aufklärungen über die Folgen orthodontischer Krafteinwirkung auf die Gewebe. Seine Aufmerksamkeit wurde auf häufige Resorptionen der Wurzelspitzen gelenkt, die zu Beginn nicht vorhanden waren, also pathologisch sein mußten. Folgende Tabelle gibt über die Ergebnisse der Röntgenuntersuchungen von Ketcham Aufschluß.

Art des Apparates	Anzahl d. beobachteten Apparate	Zahl der dadurch bedingten Resorptionserscheinungen	
		absolut	%
Stiftröhrchenapparat nach Angle	67	20	29,9
Bandbogen nach Angle	185	66	35,7
Labialbogen mit Ligaturen	331	33	10,0
Lingualapparat nach Mershon	395	10	2,5

Die Ursache der Resorption ist sicherlich in der zu hohen Bemessung der Regulierungskraft zu suchen.

Wenn wir nun weiterhin die Wirkung orthdontischer Kräfte auf das Knochengewebe betrachten, so sehen wir, daß Resorption der Alveolarwand auf der Druckseite und Apponsion auf der Zugseite die Folge ist. Der Zahn selbst, insbesondere der Zementmantel soll dabei unangetastet bleiben; denn infolge der Steigerung des Blut- und Gewebedruckes an der Druckseite kommt es zur Bildung von Osteoklasten (Sommer, Lang, Häupel), die jedoch bei richtigem Vorgehen nur den Alveolarknochen zum Abbau bringen. In diesem differenten Verhalten des Zementmantels gegenüber dem Knochen der Alveole — nach Gottlieb begründet in der verschiedenen „biolog. Qualität“

beider Hartrubstanzen — liegt überhaupt die Möglichkeit, einen Zahn ohne Schaden zu bewegen (Gottlieb, M. Schwarz). Diese Möglichkeit ist aber nicht mit der Sicherheit gegeben, wie es bisher den Anschein hatte. Ueberbelastungsversuche, die Gottlieb und Orban an den Zähnen junger Hunde vorgenommen, zeigten, daß nicht allein der Alveolarknochen auf der Druckseite etwa zwei Tage nach Einsetzen der Regulierungskräfte zum Abbau kommen, sondern daß auch bereits nach 5 Tagen Resorptionen am Zementmantel des Zahnes in Erscheinung treten, wenn auch wesentlich geringer als dort. Mit zunehmendem Alter und zunehmender Krafteinwirkung steigerten sich auch die Einschmelzungen am Zementmantel des Zahnes.

Unter Umständen verfällt also der Zementbezug des Zahnes ebenso der Resorption, wie die Alveolarwand, und nur durch die relative Trägheit dieses Abbaues gegenüber den schnellen Umbauvorgängen am Alveolarknochen ist die Möglichkeit einer orthodontischen Zahnbewegung gegeben. Diese Zementresorptionen dürften aber praktisch keine Bedeutung haben, da sie bald durch neue Zementauflagerungen ersetzt werden.

Fußend auf den Gottlieb'schen Befunden hat M. Schwarz vier verschiedene Intensitätsgrade der orthodontischen Regulierungskräfte unterschieden, welche die ganzen Bedingungen einer biologischen Zahnbewegung beleuchten und dem Orthodontisten die Möglichkeit geben durch eine zweckmäßige Bemessung der Regulierungskräfte eine biologische Wirkung zu erzielen. Diese vier biologischen Wirkungsgrade besagen kurz folgendes:

1. Die Kraft ist so schwach und kurzdauernd, daß sie den Zahn so wenig bewegt, daß es zu keinem resorptiven Aufbau kommt.
2. Die Kraft disloziert den Zahn in seiner Alveole durch längere Zeit und führt an gewissen Stellen zu jener mittelstarken Kompression der Weichgewebe, die reaktive Resorptionsvorgänge am Knochen allein zur Folge hat.
3. Die längere Zeit wirkende Kraft führt zu einer starken Kompression des Weichgewebes, deren Folgen teils heftige reaktive Resorptionsvorgänge am Knochen und am Zahn, teils aber auch schon kleinste Nekrosen sind.
4. Die auf den Zahn ausgeübte Kraft bewirkt eine so starke, anhaltende Kompression der Weichgewebe, daß dieses keinerlei reaktive Lebensvorgänge mehr zeigen kann, sondern im großen Ausmaße nekrotisch wird.

   Da nun jede noch so geringe Kraft sich auswirkt, bezieht sich der erste biologische Wirkungsgrad mehr auf eine zu kurze Wirkungsdauer der Kraft, sodaß ein Umbau der Alveole nicht eintreten kann. Zu orthodontischen Zahnbewegungen muß also immer der zweite biologische Wirkungsgrad eingehalten werden. Möglichst geringe kontinuierliche Kräfte sind hier indiziert. Trotz der feinen Dimensionen der Bodily-

apparate Angles weisen aber gerade diese in etwa $^1/_3$ der Fälle Gesorptionen an der Wurzelspitze auf. Für sehr frühzeitige körperliche Bewegung mag der Grund, außer in zu großer Krafteinwirkung, darin liegen, daß die Wurzelspitzen der Zähne in dieser Zeit oft nicht ganz ausgebildet sind und durch die starre, zwangsläufige Verankerung auf einmal unter einem starken kontinuierlichen Druck gesetzt werden. Gerät weiterhin ein fertig verkalkter Faserapparat durch die Einwirkung einer Bodilyapparatur in Verlust, so unterliegt die Region der Wurzelspitze ungeschützt einer ziemlich großen Kraft und kommt bei der nachhaltigen Elastizität der modernen Edelmaterialien bald zur Einschmelzung. Bei den körperlich wirkenden Apparaten (Röhrchensporn-Apparat, Bandbogen Angles) ist also die Gefahr der Ueberschreitung des zweiten biologischen Wirkungsgrades am größten, eine Tatsache, die durch die Zahlen von Kretcham überzeugend bewiesen wird.

Ein wesentlich günstigeres Ergebnis zeigt der Angle-Bogen mit Ligaturenverankerung. Durch die intermittierende Zugkraft der Ligaturen, die Kippung, welche die Gegend der Wurzelspitze nicht so stark unter Druck setzt, durch die Möglichkeit, eine allzugroße Kraftwirkung durch Kippung oder Lockerung des Zahnes zu erkennen, ist eine erhebliche Sicherung gegen Schädigungen gegeben. Doch die $10\,^0/_0$ Resorptionsfälle von Ketcham zeigen, daß nicht selten zu schnell und zu kräftig bewegt wurde.

Der Lingualbogen nach Mershon, der hochlabiale Bogen nach Lourie, wie überhaupt alle Apparate, die mit hochelastischen und feindimensionierten Federchen arbeiten, vermögen ohne Hemmnis auf alle Einflüsse der Kaufunktion, der Bewegungen von Zunge und Wangen wie überhaupt auf alle Einflüsse der natürlichen Funktionskräfte des Organismus zu reagieren. Auch beträgt der Durchmesser der Fingerfederchen nur etwa $^2/_3$ bis $^1/_2$ von dem Durchmesser der zu körperlichen Bewegungen benützten Bögen, die ausgeübten Kräfte der Federchen können also auf $^1/_2$ bis $^1/_3$ von der Federkraft des Bogens bemessen werden. Die $2{,}5\,^0/_0$ der Fälle, in welchen nach Ketcham Resorptionen auftreten mit Kippung und Schmerzen, sind auch hier ein Zeichen zu stark und falsch bemessener Kräfte. Die Spannung der Federchen soll deshalb 0,75 bis 1,0 mm nie übersteigen.

Einen objektiven Anhaltspunkt für die biologisch günstigste Krafteinwirkung auf einen Zahn gewinnen wir aus der Ueberlegung, daß diese Kraft nicht so groß sein darf wie der kapillare Blutdruck. Nach den Untersuchungen von M. Schwarz beträgt dieser 15—20 g Hg. pro cm^2 d. h. umgerechnet, daß ein Druck von 20—26 g pro cm^2 die kapillare Pulsation eben unterdrückt. Unter Einberechnung gewisser Druckverluste (durch Weichteile, Einsetzen und geringfügige Labilität des Apparates und baldiges,

geringes Nachgeben der Zähne nach ihrer Belastung) kommen wir also bei einwurzeligen Zähnen durchschnittlich auf etwa 15—20 g zulässigen Maximaldruck pro Wurzel im Falle kippender Bewegung. Diese Kraftschwelle wird von dem freien Ende der Fingerfederchen bei richtiger Anwendung in keiner Weise überschritten.

Bei Bodily-Bewegung haben wir nach Breitner mit 20-fachem Widerstand zu rechnen und sollten auch die 20-fache Kraft ohne Gefahr einer Anämisierung des Periodontiums anwenden können. Aber da die Bodily-Bewegung meist keine reine Parallelverschiebung der Wurzel, sondern oft eine bedenkliche Kippung des Zahnes hervorruft, werden wir auch hier einen Druck von 50 - 60 g sicherheitshalber nicht überschreiten, zumal diese Kraft vollauf genügt, um die biologisch günstigste Form der Resorption in Gang zu bringen. Maßgebend für den Effekt der orthodontischen Kräfte ist jedoch die konstitutionell verschieden Resorptionsbereitschaft des Gewebes der gleichgroßen Kraft gegenüber.

Wenn wir nun die beiden maßgebenden Richtungen der modernen Orthodontie, den Neo-Angleismus (körperliche Bewegung) einerseits, und den Mershonismus (biologische Behandlungsmethode) andererseits, mit einander vergleichen, so sehen wir, daß beide Richtungen bestrebt sind, den zu bewegenden Zahn in physiologischer Achsenneigung in seine normale Stellung zu bringen und zwar unter Einwirkung biologisch bemessener Kräfte. Diese biologische Dosierung ihrer orthodontischen Kräfte haben Angle und Mershon durch Einführung der Edelmetall-Legierung sehr gut erreicht. Die praktische Auswirkung der beiden Systeme ist aber infolge der grundverschiedenen Ausgestaltung der Verankerung eine ganz andere. Die starre Verankerung der Angle'schen pin- and tube- und pracket- Apparate genügt wohl den physikalischen Bedingungen, nicht aber den natürlich-biologischen, ordnenden Kräften des Organismus, die beinahe vollständig ausgeschaltet werden (Retensionsbehandlung). Mershon dagegen hat erkannt, daß ein Zahn nur dann biologisch bewegbar ist, wenn er durch Einschaltung in das künstliche, physikalische Kraftsystem der Maschine nicht aus dem natürlichen, biologischen Kraftsystem des Organismus ausgeschaltet wird.

Nicht nur die Kräfte der Maschine müssen also biologisch abgemessen sein, sondern viel wichtiger ist, daß die Verankerung biologisch sei. Dies ist nur durch eine vollkommen freiläufige Verankerung zu erreichen, d. h. die physikalischen Kräfte der Maschine müssen wohl restlos auf den Zahn übertragen werden, dieser muß aber auch vollkommen im Wirkungsbereich der natürlichen, ordnenden Kräfte des Organismus bleiben. Dieses Problem löste Mershon einwandfrei, indem er einzig die Berührung als Verankerungsmittel wählte. Diese Mershon'sche

freiläufige Berührungsverankerung erzielt physikalisch wohl eine wirkliche Kippung der Zähne, aber dieselbe wird durch die wirksamen Naturkräfte automatisch in eine Körperbewegung umgestaltet. Da die künstlichen Kräfte der Mershon-Apparatur auch biologisch bemessen sind, fällt am Ende der aktiven Behandlung jede Retention weg. Die Neo-Angle-Apparatur aber lähmt infolge der starren, zwangsläufigen Verankerung die Wirkung der biologischen Kräfte und stört so trotz dem biologischen Ausmaße der Kräfte das biologische Gleichgewicht der paradentalen Gewebe und Kräfte.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß die Kraft am idealsten für unsere orthodontischen Regulierungen ist, die das Spannungsgleichgewicht jener Gewebe, in welchen sich die Bewegung abspielt, in keiner Weise stört und die Knochenstruktur in durchaus physiologischem Tempo sich umbauen läßt. Dies wird neben den richtig bemessenen und verankerten Kräften der Gummi- und Seidenligatur am besten erreicht durch die nach Mershon'schem Prinzip arbeitenden feinsten Federkräfte unter Beobachtung einer völlig freiläufigen Berührungsverankerung. Denn, wie Mershon erkannt hat, handelt es sich in der Orthodontie nicht um den Transport der Zähne von einem Ort zum anderen, sondern darum, daß Zähne und Kraftquelle nur die Mittel darstellen, mit deren Hilfe ein trophischer Reiz auf die Kiefer ausgeübt wird. Die anormale Okklusion wird so, der heutigen Forderung entsprechend, nur in groben Zügen in eine normale umgewandelt, während die letzte feine Einstellnng der Natur überlassen bleibt.

Am Scklusse meiner Arbeit sage ich Fräulein Dozentin Dr. E. von Schnizer für die gütige Ueberlassung des Themas sowie für die freundliche Unterstützung während der Verfassung meiner Arbeit meinen aufrichtigsten Dank.

Lebenslauf.

Ich, Alfred Haeberlein, wurde geboren am 2. Januar 1911 zu Altrip (Rheinpfalz) als Sohn des Pfarrers Jakob Haeberlein und dessen Ehefrau Sophie geb. Bachmayer.

Nach vierjährigem Besuch der Volkshauptschule zu Rheingönnheim, wohin mein Vater im Jahre 1916 versetzt worden war, trat ich Ostern 1921 in das humanistische Gymnasium zu Ludwigshafen a. Rh. ein, woselbst ich Ostern 1931 die Reifeprüfung bestand. Hierauf widmete ich mich dem Studium der Zahnheilkunde an der Universität zu Heidelberg, wo ich im S.S. 1932 die zahnärztliche Vorprüfung ablegte. Im S.S. 1934 meldete ich mich zum zahnärztlichen Staatsexamen und erlangte am 8. November 1934 meine zahnärztliche Approbation.

Literaturnachweis.

1.) Angle „Die Okklusionsanomalien der Zähne".

2.) Korkhaus „Moderne orthodontische Therapie".

3.) Winkler „Lehrbuch der orthodontischen Mechanik".

4.) C. Bertram „Ueber die Wirkungsweise des orthodontischen Regulierungsbogens".

5.) C. Bertram „Die Kräfte der orthodontischen Gummiligatur".

6.) Körbitz „Die Idee des Zwei-Ebenen-Bogens".

7.) Kingsley „Die Anomalien der Zahnstellung und die Defekte des Gaumens".

8.) Herbst „Zahnärztliche Orthopädie".

9.) Frohmann „Die gleichzeitige Umformung der Kiefer und ihre Apparatur".

10.) Lignitz „Der Lingualbogen und seine Anwendungsmöglichkeiten".

11.) Jakobshagen „Die leitenden Ideen der modernen orthodontischen Therapie".

12.) Zielinsky „Vorzüge und Nachteile der angewendeten Apparate und Methoden".

13.) Waldron „Die Auswahl der Apparate bei Behandlung der Malokklusion".

14.) M. Schwarz „Ein Beitrag zur Frage des Rezidivs nach orthodontischen Maßnahmen".

15.) M. Schwarz „Das biologisch günstigste Ausmaß der orthodontischen Kräfte".

16.) Salomon „Verankerungsprobleme und deren Auswirkung auf die moderne orthodontische Therapie".

17.) Pfaff „Lehrbuch der Orthodontie".